

опорами // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. С.-Пб.: СПбГТУРП, 1998. С. 95-99.

2. Сиваков В.П., Кучумов Е.Г., Музыкантова В.И., Загребина Т.В. Собственные колебания обечаек варочных котлов под опорами // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. С.-Пб.: СПбГТУРП, 1998. С. 76-80.

3. Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.

4. Сиваков В.П. Свободные колебания тонкостенных аппаратов в местах опирания на стойки фундамента // Виброакустические процессы в технологиях, оборудовании и сооружениях отраслей лесопромышленного комплекса: материалы науч.-техн. семинара. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. С. 109-115.

УДК 676.012.1-50

В.П. Сиваков, О.Б. Пушкарева
(V.P. Sivakov, O.B. Pushkareva)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)

**ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ НА ОБОЛОЧЕЧНЫЕ
ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОТЛОВ**
(INFLUENCE OF CYCLIC CHANGES IN EXTERNAL LOAD
ON THE CLADDING VAPOR VARIATIONS OF BOILERS)

Исследованы оболочечные осесимметричные колебания котлов от изменений температуры и давления. Получены расчетные уравнения и графики для определения собственных частот оболочечных колебаний котлов.

Shell-like vapor variations are investigated boilers from changes in temperature and pressure. Received equalizations and graphs for determination of natural frequencies of shell boilers fluctuations.

При периодической варке целлюлозы циклически изменяются давление и температура. Циклы изменения этих параметров обусловлены графиком варки и занимают по времени 10...120 мин. Более короткую

периодичность имеет циклическая пульсация давления в варочных котлах (ВК) непрерывной варки целлюлозы. Импульсы давления повторяются в тракте загрузочной циркуляции с циклическостью выгрузки каналов питателя высокого давления.

Местные проявления циклических изменений давления и температуры характерны для зон ввода в ВК варочных растворов от системы циркуляции и подогрева. Циклические изменения температуры и внутреннего давления в котле и трубах сопровождаются осесимметричными колебаниями обечайки [1].

На внутреннюю поверхность обечайки ВК действует кольцевая нагрузка (рис. 1).

$$F = F_c + F_a \cos \omega t, \quad (1)$$

где F_c – постоянная составляющая давления; F_a – амплитуда переменной составляющей давления; ω – частота пульсации давления.

В эксплуатационных условиях температурное поле обечайки изменяется таким образом, что для любого слоя на расстоянии r от оси обечайки температура равна

$$T(r, t) = T_c(r) + T_a(r) \sin \omega_T t, \quad (2)$$

где $T_c(r)$ и $T_a(r)$ – постоянная составляющая и амплитуда переменной в слое обечайки, определяемой радиусом r , ω_T – частота изменения температуры.

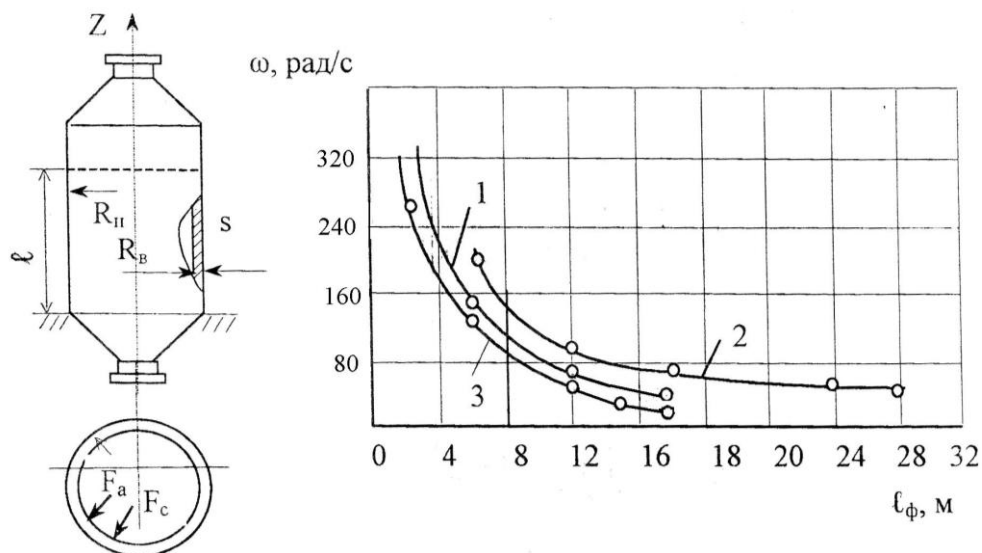


Рис. 1. Схемы к расчету низшей собственной частоты оболочечных колебаний котла:
 а) корпус ВК; б – кольцевое сечение корпуса; в – графики зависимости оболочечных колебаний

от уровня заполнения суспензией; 1 – котла КВС и -320 при вводе в эксплуатацию; 2 – то же с учетом износа за период эксплуатации; 3 – установки непрерывной варки Архангельского ЦБК при вводе в эксплуатацию

Пропорционально температуре изменяется модуль упругости каждого слоя обечайки, что является источником колебаний обечайки, описываемых уравнением

$$\frac{d^2 U}{dt^2} + \omega_1^2 \left(1 - \frac{\Omega_2}{\Omega_1} \sin \omega t \right) U = \frac{P_2}{m} \sin \omega t, \quad (3)$$

где U – радиальное перемещение обечайки, $\omega_1^2 = \Omega_1 / (mR)$ – собственная частота оболочечных колебаний обечайки при $T_c(r)$ во второй степени; $m = \rho_0 (R_B - R_H) / g$ – погонная масса;

$$\Omega_1 = \int_{R_B}^{R_H} E_C(r) d(r); \quad \Omega_2 = \int_{R_B}^{R_H} E_a(r) d(r);$$

R_B, R_H – соответственно внутренний и наружный кольцевые радиусы обечайки;

$E_C(r)$ и $E_a(r)$ – постоянная составляющая и амплитуда составляющей модуля упругости в слое обечайки, определяемой радиусом r .

Резонансные оболочечные колебания обечайки имеют место при

$$\omega = 2\omega_1 / k,$$

где $k=1, 2, 3, \dots$ – коэффициент кратности.

Уравнения осесимметричных оболочечных колебаний обечайки ВК, заполненного варочной суспензией, без учета затухания имеют вид [1]:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial \alpha^2} = \frac{(1 - \nu^2) \rho_0 R_B^2}{E} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - \nu \frac{\partial \omega}{\partial \alpha}, \quad (4)$$

$$C^2 \frac{\partial^4 U}{\partial \alpha^4} = -\nu \frac{\partial U}{\partial \alpha} - \omega = \frac{(1 - \nu^2) \rho_0 R_B^2}{E} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{(1 - \nu^2)}{ES} F(z, t), \quad (5)$$

где $\alpha = z / R_0$; $C^2 = S^2 / (12R_B^2)$; ν, ρ_0, E – коэффициент Пуассона, плотность, модуль упругости материала обечайки; z – расстояние от опор корпуса ВК в вертикальном направлении; S – толщина обечайки; (z, t) – компонента вынужденной силы, действующей на обечайку, равная силе давления суспензии на внутреннюю стенку при вынужденных колебаниях.

Решение уравнений (4) и (5) исследовано в [2]. Установлено, что частоты осесимметричных колебаний оболочек (без учета влияния волновых перемещений суспензии) выражаются зависимостью

$$\omega^2 = \frac{E}{(1-v^2)\rho R_B^2} \frac{\beta_k^2 c^2 + 1 - v^2}{1 + \frac{1}{\beta_k} \frac{R_B}{S} \frac{\rho}{\rho_0} \frac{I_0(\beta_k)}{I_1(\beta_1)}}, \quad (6)$$

где $\beta_k = (2k-1)\pi R_B / (2\ell)$; k – номер колебаний; $I_0(\beta_k)$, $I_1(\beta_1)$ – соответственно модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядка.

Анализ (6) показывает, что моментный член $\beta_k^2 c^2$ для первого тона колебаний всегда мал по сравнению с $(1-v^2)$ и им можно пренебречь. Упрощенная формула для расчета первого тона частоты осесимметричных оболочечных колебаний обечайки запишется в виде

$$\omega = \sqrt{E\beta_1^2 S / 2R_B^3 \rho}. \quad (7)$$

Для расчета частоты осесимметричных оболочечных собственных колебаний цилиндрической обечайки, наполненной суспензией менее чем на высоту ℓ , т.е. $\gamma = \ell_\phi / (2R_B)$; $\ell_\phi < \ell$, можно использовать формулу (7) принимая длину оболочки равной глубине заполнения ℓ_ϕ .

Библиографический список

1. Сиваков В.П., Бровин Н.А. Вибрация установок варки целлюлозы // Виброакустические процессы в оборудовании целлюлозно-бумажных производств / Под. ред. В.Н. Старжинского, А.А. Санникова. – Екатеринбург: УГЛТА, 1995. С. 135-141.
2. Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.

УДК 744.425:378.09

Н.Н. Черемных
 (N.N. Cheremnyh)
 УГЛТУ, Екатеринбург
 (USFEU, Ekaterinburg)

**ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКОЙ
 ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ
 В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ**